



이동통신 환경에서의 표면 탄성과 노치를 이용한 저잡음 증폭기술 연구

안 창 엽*

A Study on the Low Noise Amplification Technology Using Surface Acoustic Wave Notch in Mobile Communication Service Network

Chang-Yeup Ahn*

요 약

본 논문에서는 이동통신 환경에서의 표면 탄성과 노치를 이용한 저잡음 증폭기술 연구를 진행하였다. 이동통신 환경은 원거리 전파전송을 위해 높은 출력의 증폭장치를 사용하고 있다. 이로 인해 각 통신망 간의 전파잡음을 발생시키고 이동통신 서비스망에서 이러한 전파잡음들은 주 신호와 함께 안테나를 통해 증폭되면서 잡음 레벨과 주 신호의 레벨이 함께 상승하여 주 신호 대비 잡음의 비율을 높이고 있다. 본 논문에서는 이러한 잡음 레벨의 감소를 위해 일반적인 루프 방식 구현이 아닌 표면 탄성과 노치를 이용하여 신호잡음을 선택적으로 제거할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 연구된 저잡음 증폭기술은 노이즈 레벨을 5dB로 저지하여 기존 TMA(Tower Mounted AMP) 장치 대비 잡음을 5dB 이상 감소시키도록 하였다.

Abstract

In this paper, the study of low noise amplification technology using surface acoustic wave notch in mobile communication environment was carried. Mobile network environments are using high-powered amplifiers for long-distance radio transmission. Thus, as radio noise between each network is generated and amplified through an antenna along with the main signal in the mobile communication service network, noise levels and main signal levels are rising together to increase the ratio of noise to the main signal. In this paper, to reduce these noise levels, signal noise can be selectively eliminated by using surface acoustic wave notch rather than implementing conventional loop method. The low noise amplification technique studied in this paper was designed to reduce noise level by more than 5 dB compared to existing TMA(Tower Mounted AMP) devices by blocking noise level to 5dB.

Keywords

acoustic wave, White noise, low noise canceller, mobile network, noise cancelation

* (주)알원 대표

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5758-1203>

• Received: Oct. 08, 2019, Revised: Dec. 18, 2019, Accepted: Dec. 21, 2019

• Corresponding Author: Chang-Yeup Ahn

Dept. Department of Information and Communication Engineering, Sangji University

Tel.: +82-31-442-7563, Email: ckdduq2001@daum.net

1. 서 론

일반적으로 이동통신 기지국의 전단은 안테나, Duplexer, Power Unit, Filter로 구성되어 있다. 신호는 기지국의 안테나를 통해 수신되어 들어오며 케이블을 통해 듀플렉서로 전달이 된다. 안테나를 통해 수신된 신호는 미약한 신호인데, 케이블을 통해 전달되면서 그 신호가 더욱 약해진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 안테나 가까운 곳에 TMA(Tower Mounted Amplifier)를 설치하여 미약한 신호를 증폭 후 듀플렉서로 전달 되도록 하고 있다. 그러나 현재 사용 중인 TMA는 단순히 증폭만 하는 기능을 갖추고 있기 때문에 안테나를 통해 수신된 주 신호뿐만 아니라 여러 노이즈 신호도 증폭 된다. 일반적으로 사용하는 TMA는 주 신호를 10dB Gain을 얻으면서 잡음 신호를 7dB 증폭한다[1][2].

본 논문에서는 일반적으로 연구되는 루프 방식에 의한 구현이 아닌 표면탄성과 노치를 이용하여 노이즈 신호를 선택적으로 제거한다, 또한 무조정 표면탄성과 지연선을 통해 주 회로와 서브회로 간의 동기를 맞출 수 있도록 하였다. 전체적으로 무조정의 표면탄성과 노치와 지연선을 사용하기 때문에 크기, 무게 및 신뢰성이 향상되며, 노이즈를 제거하는 방식을 사용함으로써 기존의 TMA에 비해 이동통신 기지국 주파수 효율을 크게 향상시킬 수 있다[3]. 본 논문에서 연구한 화이트 노이즈 제거용 저잡음 증폭기는 노이즈 Level을 5dB로 저지하여

기존의 TMA 대비 잡음을 5dB 이상 저지할 수 있다.

II. 화이트 노이즈 제거 위한 저잡음 증폭기 설계 및 제작

그림 1은 Low noise canceller의 구성 블록도로 동작은 다음과 같다. 그림 1에서와 같이 안테나에서 들어오는 신호는 RF IN으로 표시하였다.

Low noise canceller의 회로구성은 Branch Line coupler, Delay equalizer, Attenuator, AMP, 등으로 구성되어 동작된다. 회로의 구성은 피드백을 이용한 회로 구성으로 설계되었다. 그림 1에서 ①은 저잡음 증폭기이며, Attenuator는 ⑤~⑩에 해당한다.

피드백 회로에는 일반적으로 Negative feedback과 Positive feedback으로 나누어지는데 Negative feedback과 Positive feedback의 차이점은 Negative feedback은 원래의 신호 크기에 -신호를 합치는 역할을 하는 것이고 positive feedback은 원래의 신호크기에 +신호를 합치는 역할을 하는 회로이다. Negative feedback 원리를 이용하여 특정 주파수 대역의 신호 크기를 빼주는 역할을 하는 회로로 본 Low noise canceller를 구성 운영하는데 사용하였다.

①~④과정은 180도 위상 천이 과정이며, ⑤, ⑥과 ⑧, ⑨가 180도 위상 천이를 진행하는 위상 천이 분배기이다. ⑦과 ⑩은 감쇄기이다. 감쇄기는 LNA에서 수신된 신호를 입력받아 branch line coupler에서 분배된 신호를 받는다.

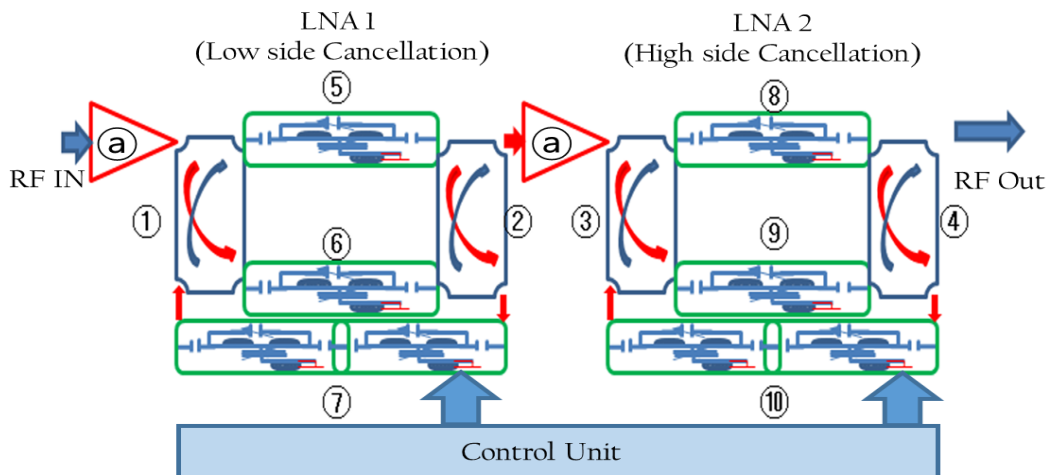


그림 1. Low Noise Canceller의 구성 블록도

Fig. 1. Configuration block diagram of the low noise canceller

그림 1의 실제 장치 구성은 ①~④는 90도 위상 천위를 위한 분배결합기로 구성되어 있으며, ⑤, ⑥ ⑧, ⑨는 저역통과필터와 Delay equalizer로 구성되어 있다. 또한 ⑦과 ⑩은 저역통과필터, Delay equalizer, 감쇄기로 구성되어 있다.

사용된 LNA의 전기적 특성은 NF=0.7dB, Gain=19dB, OIP3=36, 전압=5V인 LNA를 사용하였다. Branch line coupler는 출력 단자의 위상을 90도 다른 위상으로 양분하는 소자이다. 한 입력단자에 인가된 신호전력은 2개의 출력 단자에 3dB 감쇠되어 전달되고 각각의 출력단자는 위상이 90도 다르게 된다. Control Unit에서는 LNA에 출력되는 값을 x, x값을 위상천이 한 값을 y라 하였을 때, x와 y신호의 위상배열을 통해 상호 상쇄작용으로 얻어지는 z 값을 최소로 하기 위해 x와 y의 위상과 레벨을 Digital Unit 부분에서 조절하게 된다. 안테나에서 입력되는 RF IN신호는 1차적으로 LNA(Low Noise Amplifier) 1을 통과하고 증폭된 신호는 하이브리드 결합기를 통하여 두 개의 신호로 분리되며 분리된 신호는 첫 번째 잡음신호 제거 과정에서 낮은 주파수의 대역을 저지하고 낮은 대역의 주파수가 저지된 신호는 2번째 LNA를 거쳐 하이브리드 결합기 및 잡음신호 제거회로에 의하여 높은 주파수의 대역을 저지하는 결과를 가져온다. 이로서 첫 번째 잡음신호 제거 과정과 2번째 잡음신호 제거 과정을 통과한 신호는 각각의 경로를 규정함으로써 전체적인 주파수 응답 특성을 구할 수 있다[4]-[6].

그림 2는 branch coupler의 설계 예이다. branch line coupler는 그림에서 본 것과 같이 4개의 포트 구성되어 있다. 포트 1에서 RF가 입력되면 포트 2, 3에서 3dB의 분배가 일어나지만 90도의 위상차를 보인다. 그리고 포트 4는 보통 격리되거나 피드백을 위한 입력 단으로 사용하였다.

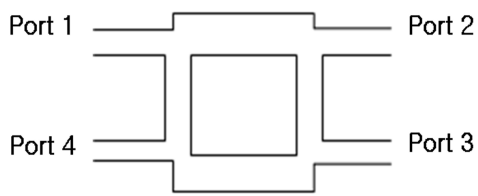


그림 2. 3dB Branch coupler
Fig. 2. 3dB branch coupler

그림 2의 port 1 대비 port 2에서는 90도의 출력을 갖고, 신호가 분배되는 port 2와 port 3에서의 출력은 90도의 위상차를 갖고, port 2, 3은 각각 -3dB의 출력을 갖게 된다.

분배기의 2번과 3번 port에서 출력되는 신호는 90도의 위상차를 갖고 있어 2개의 분배기에서 설계된 신호는 1번의 커플러와 2번의 커플러에서 통과된 신호는 2개의 커플러를 통과해서 180도의 위상을 갖게 된다. 이로 인하여 신호는 위상이 정반대가 되어 제거되는 결과를 가져 온다. 2개의 신호가 완전히 180도의 위상에 의한 신호가 제거되는 것을 방지하기 위하여 그림 1의 ⑤ 및 ⑥의 delay equalizer를 미세 조절하여 두 개의 신호가 완전히 제거되는 것을 방지할 수 있도록 한다. 이러한 신호의 조절을 위하여 그림 1의 ⑤의 delay equalizer와 ⑥의 delay equalizer의 delay를 조절함으로써 2개의 신호가 완전히 상쇄되지 않도록 한다. ⑤의 delay 값은 3ns, ⑥의 delay 값은 1ns로 조절하였다. ⑦의 delay equalizer에 의하여 생성된 피드백 신호는 주 신호와의 특정 점에서 위상을 반대로 할 수 있도록 하고 신호를 ②의 coupler를 통과한 순방향 출력 신호는 ⑦의 delay equalizer에 의하여 위상 및 이득 조절기에 의하여 피드백 되며 이 신호는 오류신호로 동작된다. Delay equalizer는 잡음을 선택적으로 조절할 수 있도록 폴을 저주파대 또는 고주파대에서 잡음을 선택적으로 제거할 수 있도록 조절한다. 즉 특정 주파수의 지연시간은 위상에 관계됨으로서 특정 대역을 제거할 수 있다. 피드백 신호는 ①에서 입력되는 원래의 신호와 위상과 이득이 동조되어 상측 또는 하측의 잡음을 선택적으로 상쇄시켜준다. 이러한 동작은 2단 연속적으로 동작시킨다.

그림 3은 delay equalizer의 블록도이다.

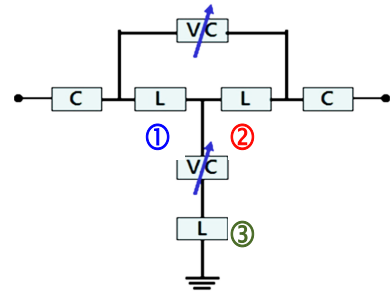


그림 3. Delay equalizer 블록도
Fig. 3. Delay equalizer block diagram

Delay equalizer는 ①, ②, ③ L값 변경 및 가변 캐패시터의 조정에 따른 Delay 수치 변화 측정으로 진행하며 미세조정을 위하여 0.5ns~4ns까지 0.5ns 단위로 측정을 한다. 매칭 값의 크기에 따라 가변하는 Delay 범위가 다르고 Delay equalizer는 커플러에 의하여 분배된 신호의 동기를 맞추기 위하여 위상과 지연시간을 동기화함으로서 두 신호의 합에 의한 원하는 신호를 cancellation의 역할을 하게 된다.

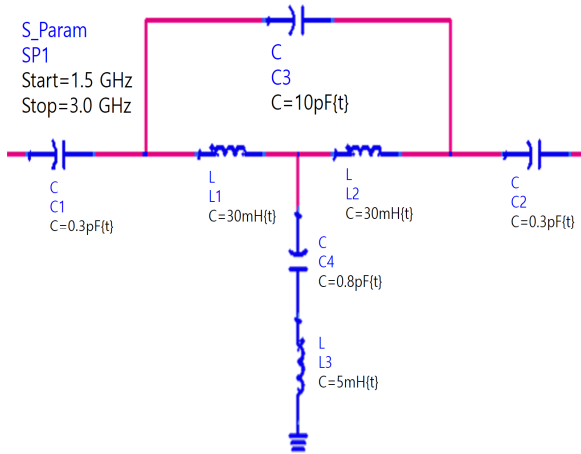


그림 4. Delay equalizer 시뮬레이션 블록도
Fig. 4. Delay equalizer simulation block diagram

그림 4는 delay equalizer의 시뮬레이션을 위한 블록도이다. 그림 4와 같이 L, C를 이용하여 delay equalizer의 폴이 형성된다. 형성된 폴에서 delay time은 그림 3과 같이 delay의 값이 L, C를 조절함으로써 미세 단위를 조절할 수 있다. C3 값 변경에서는 2~4 pF범위 변화를 주었을 경우에 주파수 변동이 없었고 0.5pF 기준으로 0.01pF 단위로 변경할 때 주파수 응답 변화가 있었다. C4 값 변경은 0.8pF 기준으로 0.02 pF 단위로 변경할시 주파수 응답이 변화되고 있다[7][8].

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

L값과 C값은 식 (1)의 공진 주파수 공식을 적용하였다.

그림 5는 가변 C값의 변화에 따른 시뮬레이션 결과이다. C값은 0.5pF~2pF의 값을 사용하였다. 이를 바탕으로 delay equalizer의 C3와 C4를 자동화에 의하여 변화시킴으로서 원하는 점에서 위상을 변화시켜 제거하고자하는 주파수 점을 제거할 수가 있다.

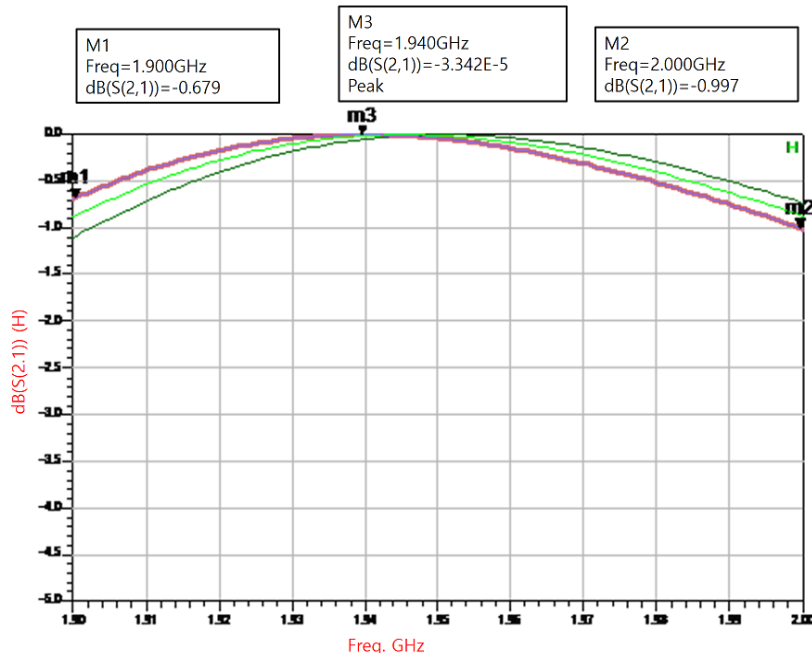


그림 5. 가변 C값의 변화에 따른 Delay Equalizer의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of delay equalizer according to variable C value

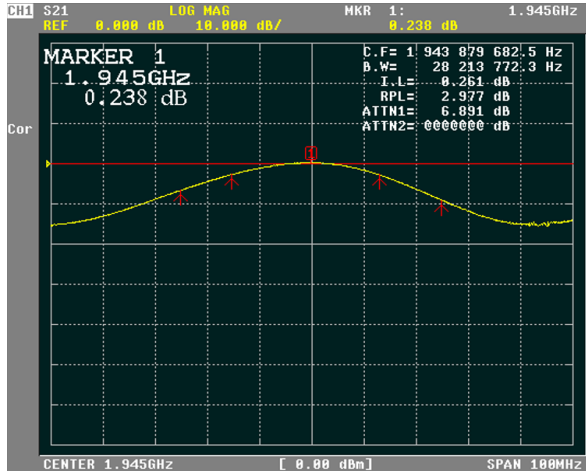


그림 6. Delay equalizer 주파수 응답특성
Fig. 6. Delay equalizer frequency response

제작된 delay equalizer의 특성은 그림 6과 같다. 그림 1과 같이 저역통과필터와 고역통과필터를 조합하여 제작된 delay equalizer의 중심에서의 삽입손실은 0.3dB를 보임으로서 delay equalizer를 통과한 후의 삽입손실은 없게 된다.

III. 실험

그림 7은 기지국의 수신단에 입력되는 신호를 시험 증폭기를 이용해 구현한 RF신호특성이다. 그림 7의 특성은 실제 기지국과 100m이내에 근접한 위치에서의 신호 파형이다. 실제 원거리에서 수신되는 신호파형은 S/N Ratio가 20dB 이내의 신호파형이 수신된다.

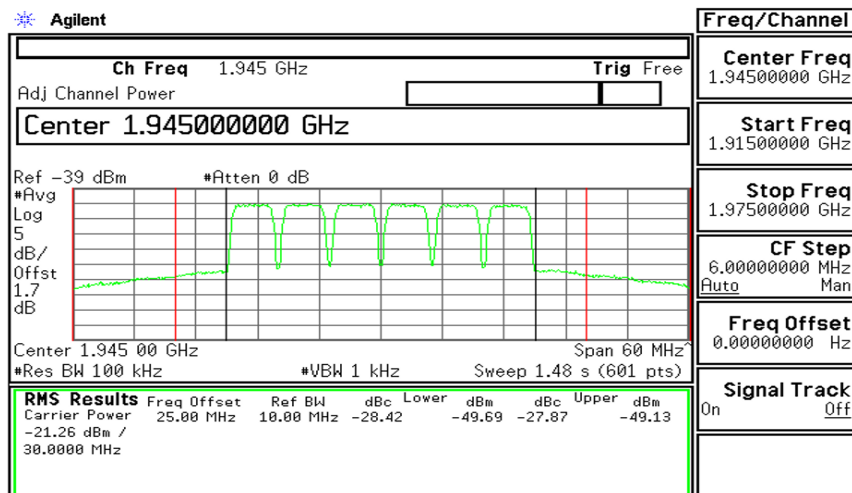


그림 7. 입력신호의 노이즈 특성
Fig. 7. Noise characteristics of input signals

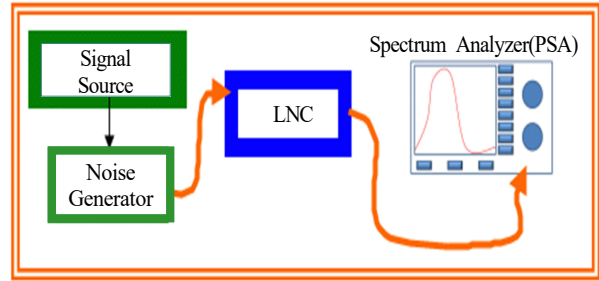


그림 8. LNC 측정 시험 구성도
Fig. 8. LNC measurement test diagram

그림 8에서는 실험실에서 LNC의 성능을 보기 위한 전체적인 구성도이다.

그림 8의 Signal source는 Signal generator(E4438C)을 사용하였으며, 잡음발생기로는 자체 제작한 Noise generator, 그리고 LNC의 잡음제거 측정을 위한 Spectrum analyzer(E4445A)를 사용하여 측정을 진행하였다.

그림 8에서 Signal source에서 발생하는 신호는 잡음발생기를 통하여 임의적으로 잡음을 발생시켜 이 잡음의 제거 정도를 측정하는 것이다. 임의적으로 발생된 잡음은 그림과 같이 LNC를 통하여 스펙트럼으로 측정하게 된다. 잡음 발생기의 구성은 2단 저잡음 증폭기를 사용하여 제작되었으며 2단 앰프는 P1이 0dB인 앰프를 포화시켜 EVM(Error Vector Magnitude)을 악화시키는 방식으로 설계 제작하였다. EVM의 왜곡되는 비율은 입력 초단 앰프의 이득을 조절하여 사용하며, TMA를 시험하는데 적합하게 설계하였다.

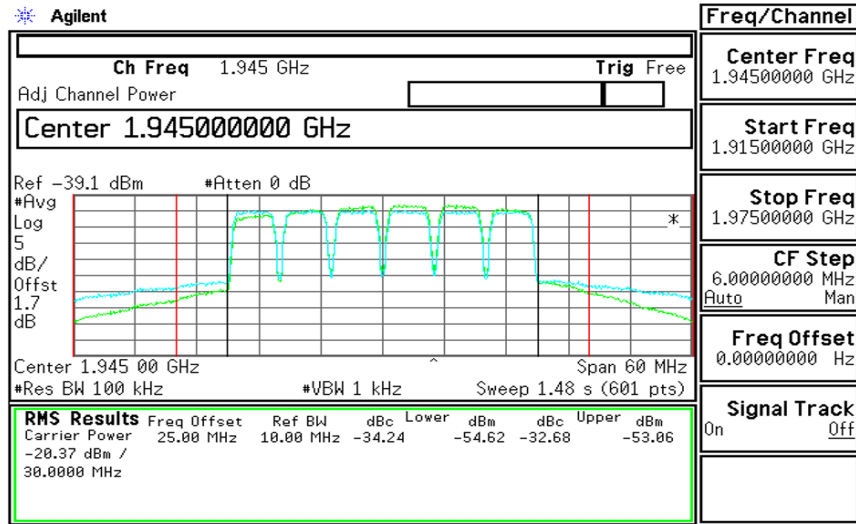


그림 9. 잡음제거 결과
Fig. 9. Noise cancellation result

그림 9에서는 잡음이 있는 주파수 응답 특성과 LNC를 통과한 후의 주파수 응답특성을 보이고 있다. 잡음제거 특성은 근접 채널에서의 잡음이 30dB정도 상쇄되고 10MHz 지점에서는 5~8dB의 S/N을 개선하는 특성을 보이고 있다. 본 개발 장치의 시험 결과는 다음 표 1과 같다.

표 1. 실험 결과 요약
Table 1. Summary of experiment results

Metric		Measurement result
3dB Bandwidth		33.52 MHz
Band flatness		2.69 dB
Gain		8.12 dB
Tx/Rx Isolation		-104.32 dB
Input VSWR		1.28
Noise power cancellation	Lower	5.37 dBc
	Upper	5.51 dBc
EVM	1FA	2.10 % rms
	2FA	1.11 % rms
	3FA	0.20 % rms
	4FA	0.28 % rms
	5FA	1.61 % rms
	6FA	2.71 % rms

본 개발 장치를 정밀 조정 및 Turning S/W를 적용 시 잡음제거 정도는 10dB 정도로서 많은 잡음을 제거할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 잡음 제거 장치는 기지국용뿐만 아니라 중계 장치 등 모든 이동통신 장비에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결 론

본 논문에서 연구한 저잡음 증폭기술 인해 이동통신 기지국에 수신되는 신호에서 노이즈를 제거하여 기존 기지국이 갖고 있던 통신의 손실 및 통화 중 절단, 커버리지 축소 등의 문제점을 해결하여 기지국 성능을 향상시킬 수 있고, 한 개의 기지국으로 보다 많은 가입자들에게 서비스를 할 수 있을 것으로 예상 된다. 실험 결과 대역 외에서 3-4dB 잡음 제거현상은 통과대역내의 잡음제거는 5~10dB 이상의 잡음을 제거할 수 있는 결과를 가져왔다. 특히 4-5세대 이동통신의 경우 더 많은 데이터 통신을 위해 저출력의 기지국을 필요로 하게 되는데, 본 논문에서 진행된 연구결과를 사용하게 되면 높은 주파수 효율 및 넓은 커버리지의 기지국 설비를 제공할 수 있다. 이러한 이론적 정립은 일반적인 중계시스템에 응용함으로써 능동소자의 노이즈를 제거할 수 있을 것으로 기대 된다.

References

[1] I. Korn, "Digital Communications", Springer, pp. 676, Dec. 2012.
 [2] J. H. Han, M. S. Choi, H. K. Kim, S. H. Yoon, S. R. Lee, and S. W. Ming, "A Network Interface

Selection Scheme for Seamless Service in Next Generation Mobile Network", in Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2011 (KICS ICC 2011), Jeju Island, Korea, pp. 9-10, Jun. 2011.

- [3] S. C. Cripps. "RF power amplifiers for wireless communications", Artech house, pp. 472, May 2006.
- [4] M. K. Seo, J. S. Yun, J. W. Han, J. Y. Tak, H. Y. Kim, S. M. Park, "A Selective Feedback LNA Using Notch Filter in 0.18 μ m CMOS", The Institute of Electronics Engineers of Korea - Semiconductor and Devices, Vol. 46, No. 11, pp. 77-83, Nov. 2009.
- [5] N. Potheary, "Feedforward linear power amplifiers", Artech house, pp. 204, Jan. 1999.
- [6] S. Petroni, G. Tripoli, C. Combi, B. Vigna, M. De Vittorio, M. T. Todaro, G. Epifani, R. Cingolani, and A. Passaseo, "GaN-based surface acoustic wave filters for wireless communications," Superlattices and Microstructures, pp. 825-831, Oct. 2004.
- [7] N. Verma and K. Suganthi, "Low Noise Amplifier at 4GHz Frequency for DBS Application", In Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2), 2017 International Conference on, pp. 231-235. Mar. 2017.
- [8] M. Fanoro, S. S. Olokede, and S. Sinha, "Design of a low noise, low power V-band low noise amplifier in 130 nm SiGe BiCMOS Process Technology", Semiconductor Conference (CAS), 2017 International, pp. 275-278, Oct. 2017.

저자소개

안 창 엽 (Chang-yeup Ahn)



1986년 2월 : 광운대학교

전자통신학과(공학사)

1994년 8월 : 광운대학교

전자전파학과(공학석사)

2018년 8월 : 상지대학교

정보통신공학과(박사수료)

2019년 12월 현재 : (주)알원 대표

관심분야 : 이동통신, 전파공학, 이동통신 중계기